

3. P.S.Andersen and S.Fabic Theoretical foundation of an advanced simulation method for power plant thermohydraulics. Dynatrek, Inc., 2115 E.Jefferson St. Rockville, MD 20852.
4. Канальный ядерный энергетический реактор РБМК. Абрамов М.А., Авдеев В.И., Адамов Е.О. и др.: Под ред. Ю.М. Черкашова. - М.: ГУП НИКИЭТ, 2006. - 632с.
5. Теория тепломассообмена: Учебник для технических вузов/ С.И.Исаев, И.А.Кожин, В.И.Кофанов и др.: Под ред. А.И.Леонтьева. - М.: Высшая школа, 1979. - 495с.

**Носов Д.А., Бадьяров И.Г., Борисова Е.В., Титов Г.П., Щеклеин С.Е.,**  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АЭС С РЕАКТОРОМ БН-800**

*aes@mail.ustu.ru*

*ГОУ ВПО "УГТУ-УПИ имени первого Президента России*

*Б.Н.Ельцина"*

*г. Екатеринбург*

*В статье рассмотрен аналитический тренажер БН-800 и его возможности по моделированию оборудования и режимов работы строящегося перспективного 3-го энергоблока Белоярской АЭС.*

*An analytic trainer BN-800 and it's operating modelling opportunities of BAES perspective 3<sup>rd</sup> energy block have been described in this article.*

Тренажер разработан с целью оснащения УГТУ-УПИ техническим средством обучения студентов, обеспечивающим углубленное усвоение физических и тепло-гидравлических процессов в системах и оборудовании энергоблока с реактором БН800.

Моторное и информационное поля аналитического тренажера реализуются на мониторах компьютеров с использованием специальных средств предоставления цифровой и графической информации, что позволяет проводить на тренажере практические занятия с целью закрепления и углубления теоретических знаний, получаемых студентами вуза по основным физическим, теплофизическим и тепло- гидравлическим процессам, сопровождающим работу энергоблока АЭС с реактором БН-800.

Тренажер может быть также использован для поддержания квалификации оперативного персонала АЭС с реактором БН-800 в части фундаментальной подготовки.

Архитектура вычислительного комплекса позволяет иметь различные конфигурации тренажера, как для совместной работы обучаемого и преподавателя, так и для самостоятельной работы обучаемого.

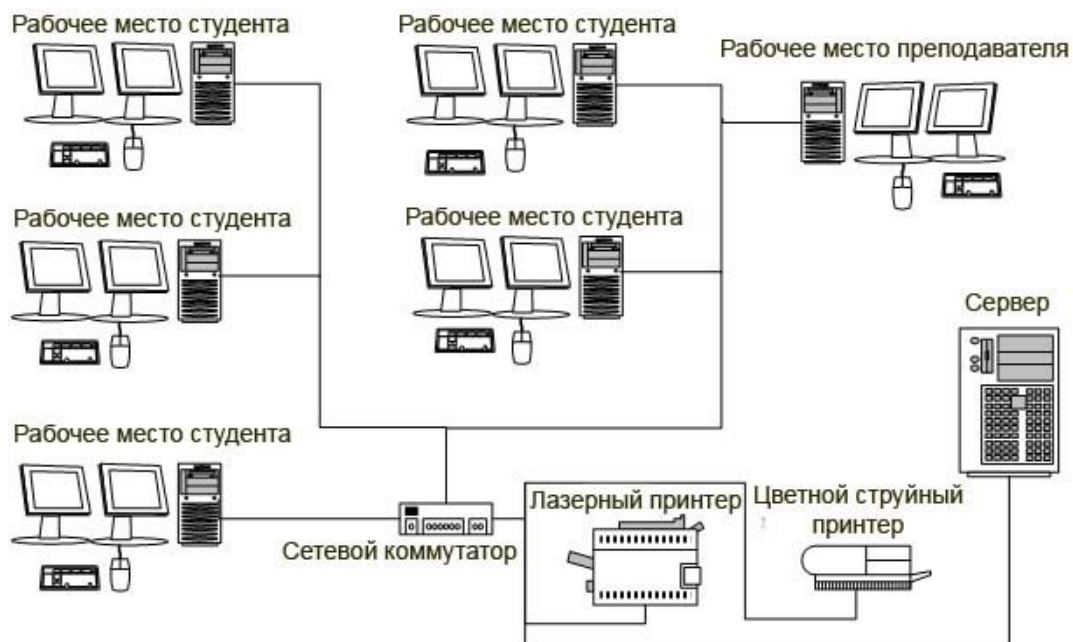
Соответственно, аппаратная конфигурация тренажера может варьироваться от нескольких персональных компьютеров объединенных в локальную сеть до одной рабочей станции (рис.1).

В максимальной конфигурации тренажер будет включать в себя ЭВМ-сервер, по одной ЭВМ на пять рабочих мест студентов, одна ЭВМ рабочего

места преподавателя, черно-белый и цветной принтеры. Все технические средства тренажера объединены в локальную сеть.

Количество мониторов на рабочем месте студента и преподавателя должно обеспечивать информационное поле в соответствии с учебными целями и может варьироваться от одного до трех.

Число рабочих мест и мониторов в составе тренажера может наращиваться на последующих этапах модернизации тренажера. На начальном этапе каждое рабочее место оснащается двумя мониторами.



*Рис. 1. Многомашинный комплекс для совместной работы преподавателя и студентов*

Параметры работы технологических систем и результаты работы студента выводятся на печать с использованием предусмотренного в составе системы принтера общего доступа.

Программный комплекс тренажера изначально реализован как распределенное программное решение, использующее в своей основе сетевые технологии. Благодаря этому последующая модернизация и расширение тренажера за счет использования удаленного управления и распределенных вычислений не представляет значительных затруднений.

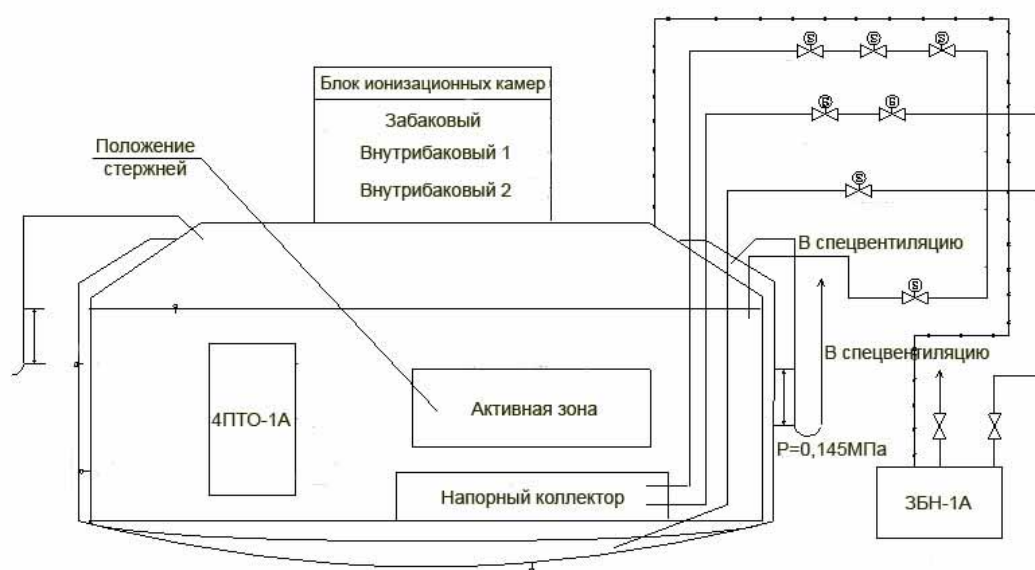
В составе оборудования и систем реакторного отделения моделируются:

- активная зона реактора;
- система первого контура с главными циркуляционными насосами (ГЦН) и промежуточными теплообменниками;
- система второго контура с главными циркуляционными насосами;
- парогенераторы со стороны второго контура;
- система аварийного расхолаживания с воздушными теплообменниками.

В составе оборудования и систем турбинного отделения смоделированы:

- система главного пара;
- турбогенератор;
- главные конденсаторы;
- конденсатная система с подогревателями низкого давления;
- эжекторы;
- питательно-деаэрационная установка, трубопроводы питательной воды с подогревателями высокого давления;
- системы вспомогательного пара;
- быстродействующие редукционные, редукционно-охладительные установки (БРУ, БРОУ).

Для моделирования реактора используется трехмерная нейтронно-физическая модель активной зоны. Тепло-гидравлическая модель реактора и петель первого контура рассчитывает пространственно-временное распределения температур топлива и натрия. Это распределение, в свою очередь, будет использоваться для учета обратных связей (рис.2).



*Рис. 2. Моделируемая схема реактора*

Натриевые контура и промежуточные теплообменники моделируются специальным кодом, разработанным для тренажера БН-600, и прошедшим валидацию в учебном подразделении БАЭС.

Регулирование оборотов ГЦН первого и второго контуров реализовано логико-динамическим моделированием, т.к. модель электроцеха не входит в объем моделирования.

Для моделирования прямоточного многосекционного парогенератора использован двухфазный неравновесный тепло-гидравлический код КАНАЛ на основе шести уравнений сохранения.

Главный конденсатор моделируется двухфазной нестационарной теплофизической моделью с учетом влияния неконденсируемых примесей (воздух) на теплообмен.

Для моделирования основного оборудования и систем паротурбинной установки использована тепло-гидравлическая система уравнений с двухфазной сжимаемой средой.

Тренажер моделирует технологические процессы нормальной эксплуатации в пределах моделируемых систем и оборудования от разогрева энергоблока из расхоложенного состояния - вывода блока на номинальный уровень мощности до останова и расхолаживания, с соответствующими защитами и блокировками.

Аналитический тренажер реализует возможность управления блоком АЭС в следующих режимах:

- пуск энергоблока из «холодного» состояния;
- вывод реактора на энергетический уровень мощности;
- прогрев ТГ и ввод его в работу;
- подъем мощности до номинальной совместно с вводом в работу ПНД и ПВД;
- работа энергоблока на мощности  $(60 \div 100)\% N_{ном}$ ;
- работа на частичных уровнях мощности в диапазоне  $(60 \div 100)\% N_{ном}$ ;
- отключение одной из трех работающих петель;
- работа на мощности  $67\% N_{ном}$  на двух работающих петлях;
- подключение неработающей петли на работающем блоке.
- плановый останов и расхолаживание энергоблока;
- аварийный останов энергоблока;
- режим снятия остаточных тепловыделений с активной зоны;

Тренажер адекватно реагирует на вводимые инструктором стандартные неисправности оборудования:

- самопроизвольное закрытие/открытие арматуры;
- потеря управляющих функций регулятором;
- самопроизвольное отключение насоса;
- заклинка арматуры в промежуточном состоянии;
- отказ в управлении арматурой;
- искажения показаний датчиков измеряемых параметров.

Тренажер адекватно реагирует на вводимые инструктором специфические аварийные ситуации, предусмотренные для оборудования и систем, такие как течи трубопроводов и т.д.

Кроме того, в тренажере реализованы:

- все аварийные ситуации, по которым останов блока, турбогенератора и отключение моделируемого оборудования должно осуществляться защитами;

- аварийные ситуации, при которых останов механизмов должен быть осуществлен оперативным персоналом.

Тренажер постоянно совершенствуется, и при поддержке ЭНИМЦ «Моделирующие системы» модели будут приближены к оперативному тренажеру реактора БН-800.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аналитический тренажер БН-800 для обучения студентов УГТУ-УПИ. Техническое задание. ЭНИМЦ «Моделирующие системы», г. Обнинск, 2008.
2. Аналитический тренажер БН-800 для обучения студентов УГТУ-УПИ. Техническое описание и руководство по эксплуатации рабочего места инструктора. ЭНИМЦ «Моделирующие системы», г. Обнинск, 2008.
3. Аналитический тренажер БН-800. Приемо-сдаточные процедуры. Маневрирование мощностью установки. ЭНИМЦ «Моделирующие системы», г. Обнинск, 2008.

**Носов Д.А., Борисова Е.В., Семенов М.Ю., Титов Г.П., Щеклеин С.Е.**  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АЭС С РЕАКТОРОМ ВВЭР-1000**

*aes@mail.ustu.ru*

*ГОУ ВПО "УГТУ-УПИ имени первого Президента России*

*Б.Н.Ельцина"*

*г. Екатеринбург*

*В статье рассмотрен аналитический тренажер ТОМАС-1А и его возможности по моделированию оборудования и режимов работы наиболее распространенных в Российской Федерации реакторов ВВЭР-1000.*

*An analytic trainer TOMAS-1A and it's operating modelling opportunities of the Russian Federation's most common VVER-1000 reactor have been described in this article.*

ТОМАС-1А – программно-технический комплекс, позволяющий моделировать нормальные, переходные и аварийные режимы работы АЭС с ВВЭР-1000. В качестве прототипа выбран 4-ый блок Балаковской АЭС.

Тренажер имеет следующие структурные составляющие:

- математическую модель энергоблока, описывающую нейтронно-физические, тепло-гидравлические и логические процессы в оборудовании и системах управления АЭС;
- графическую систему управления и визуализации, позволяющую осуществлять управление моделью и представлять результаты ее работы.

Особенностями тренажера являются:

- Доступность широкому кругу пользователей ввиду низкой стоимости технических средств.